



# Localisation et identification des interactions neutrinos dans le détecteur OPERA.

Directeurs de thèse : S. Katsanevas, D. Autiero

Carole HERITIER  
Journées Jeunes Chercheurs 2003



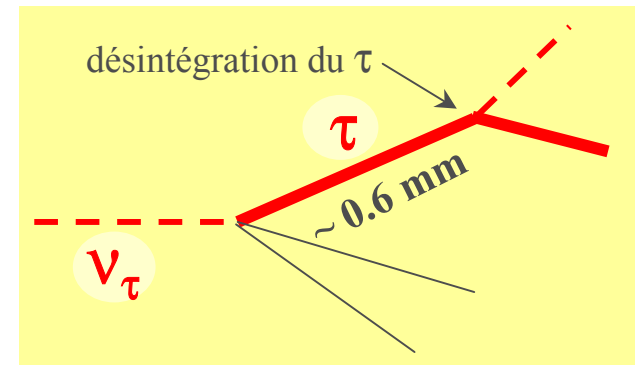
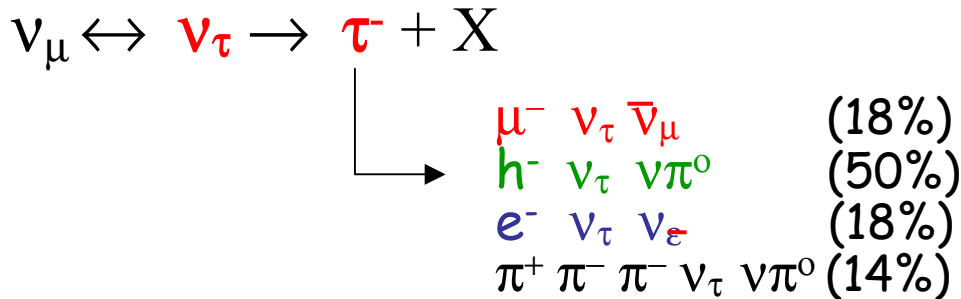
# Motivations physiques ...



- Recherche oscillation  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  (neutrinos atmosphériques). Faisceau de  $\nu_\mu$ , détecteur placé à 732km, dans le laboratoire sous-terrain du Gran Sasso.



- **Expérience d'apparition**: mise en évidence de  $\nu_\tau$  par l'observation directe de la désintégration du lepton  $\tau$  produit lors des interactions CC  $\nu_\tau \rightarrow$  masse importante + haute résolution spatiale ( $\sim 1\mu\text{m}$ )



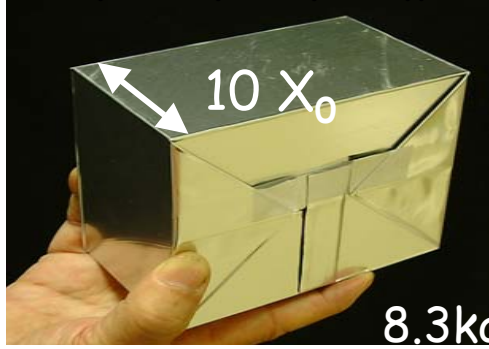
11 evts sur 5 ans avec 1.06 de bruit de fond



# Un détecteur hybride ...

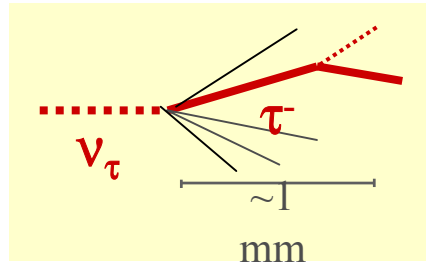


10.2\*12.7\*7.5 cm<sup>3</sup>

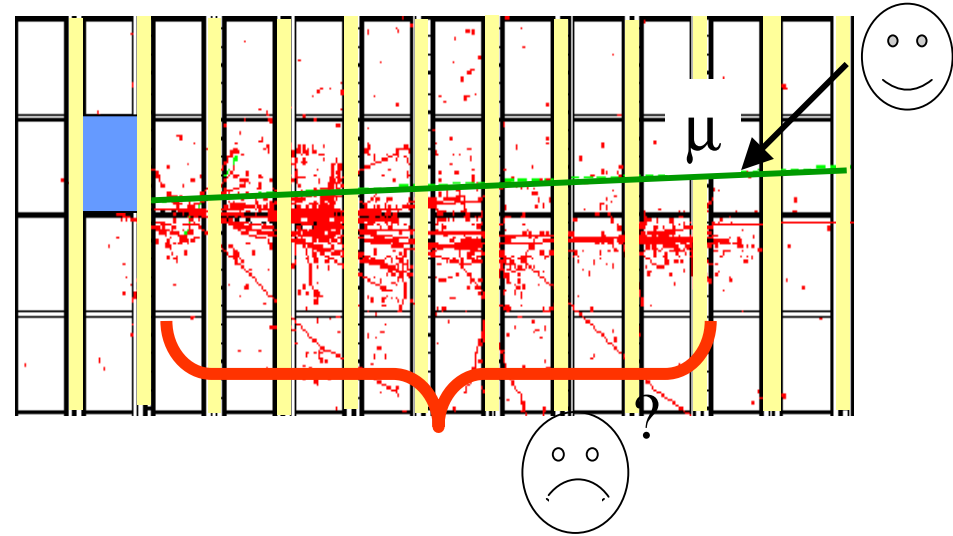


8.3kg

56 Pb(1mm) + 58 emulsions(50µm)

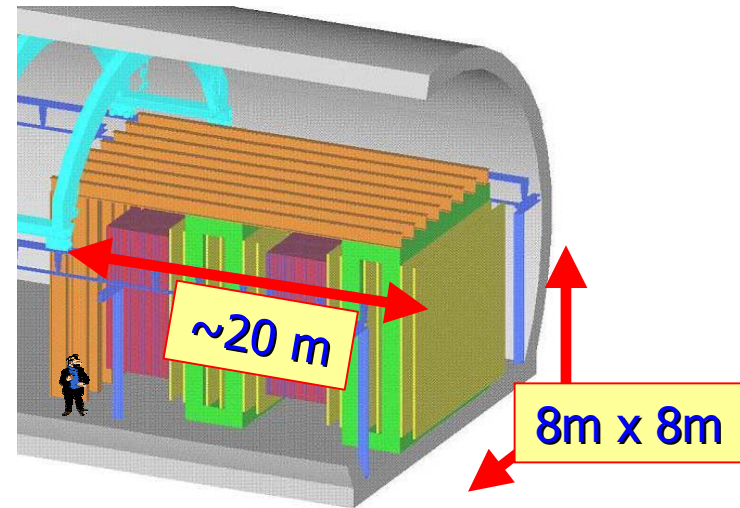


10 cm



2 plans de scintillateurs plastiques après chaque mur de briques : strips verticales+horizontales de 2.56 cm.

Calorimètre avec une segmentation longitudinale très grande mais une segmentation transversale fine





# Localisation des interactions neutrinos

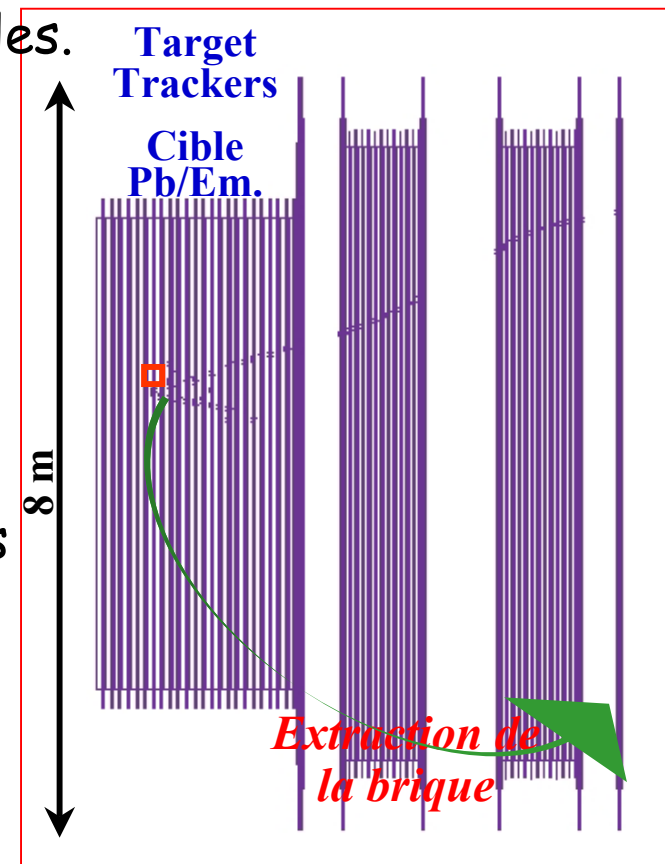


❑ Objectif: importance de localiser la brique d'interaction parmi  $\sim 200000$  briques possibles dans la cible  $\rightarrow$  Fournir une carte de probabilité des briques 3D à partir des données des détecteurs électroniques.

Difficultés dues à la rétrodiffusion de particules.

❑ Stratégie:

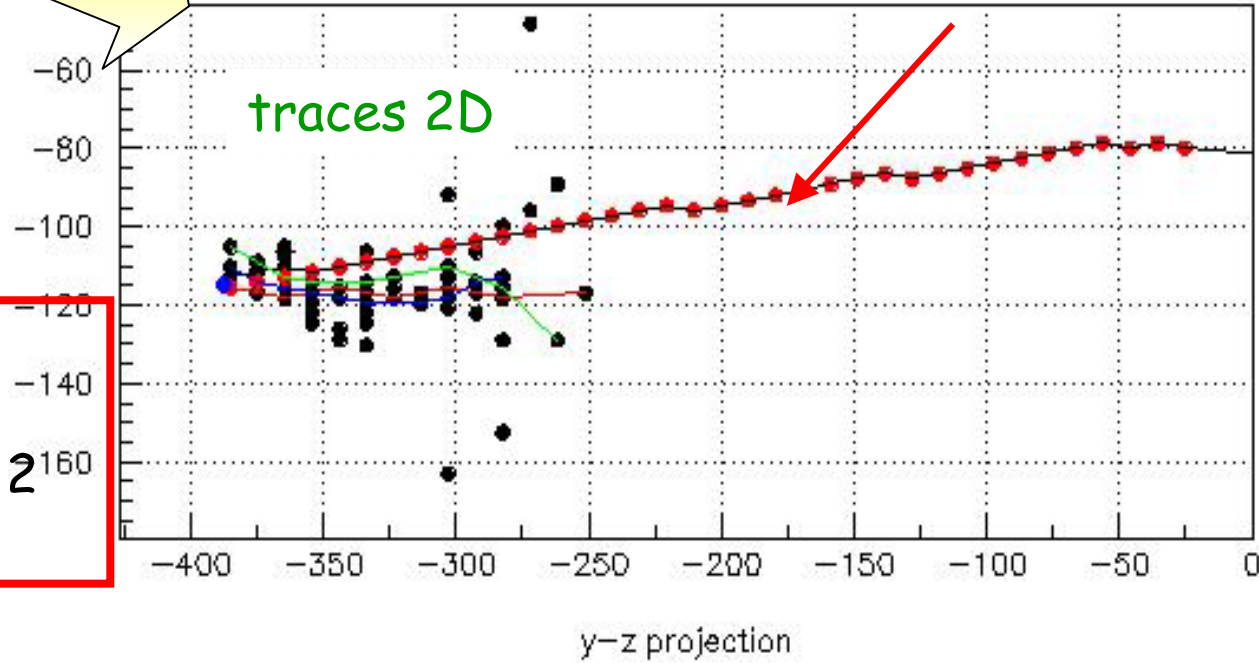
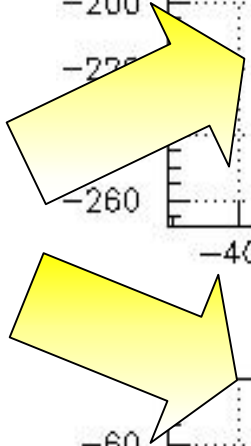
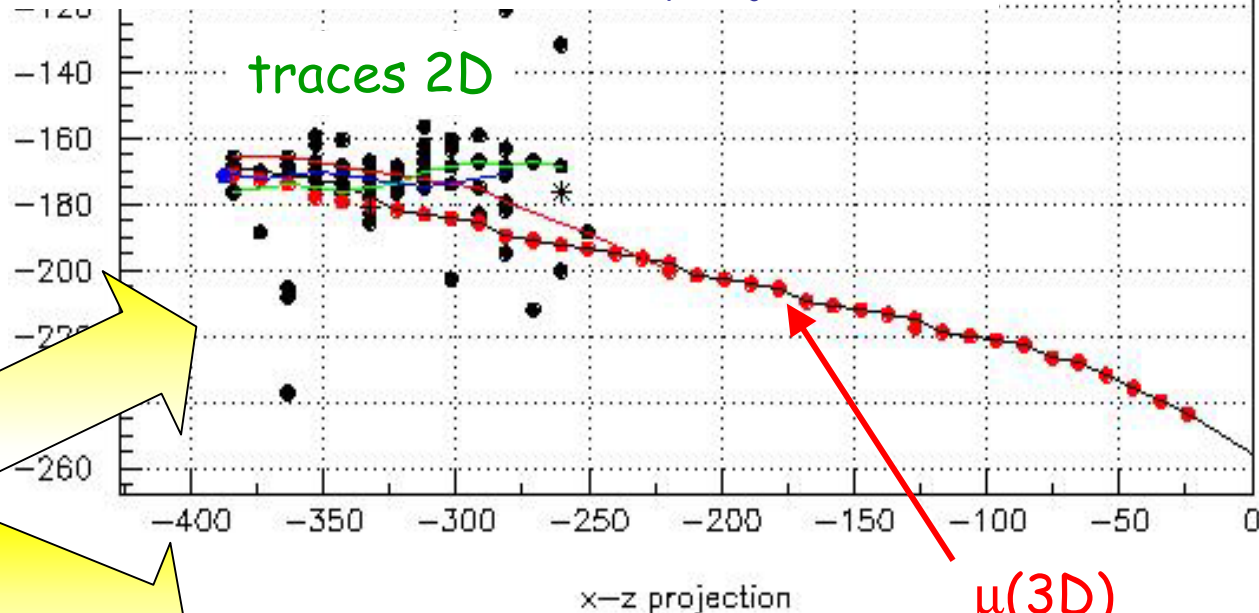
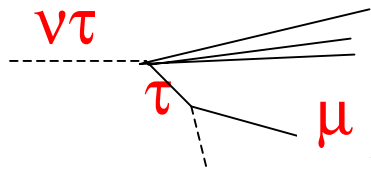
- ❖ Classification des événements par catégories ( $I_d \mu$ );
- ❖ Utilisation de réseau de neurones pour localiser le mur d'interaction (une cible=31 murs!);
- ❖ Construction d'un vertex 3D à partir des traces;
- ❖ Combinaison des probabilités données par le réseau et celles obtenues avec le vertex.





# Hits scintillateurs dans la cible (2 projections)

$\tau \rightarrow \mu$  DIS

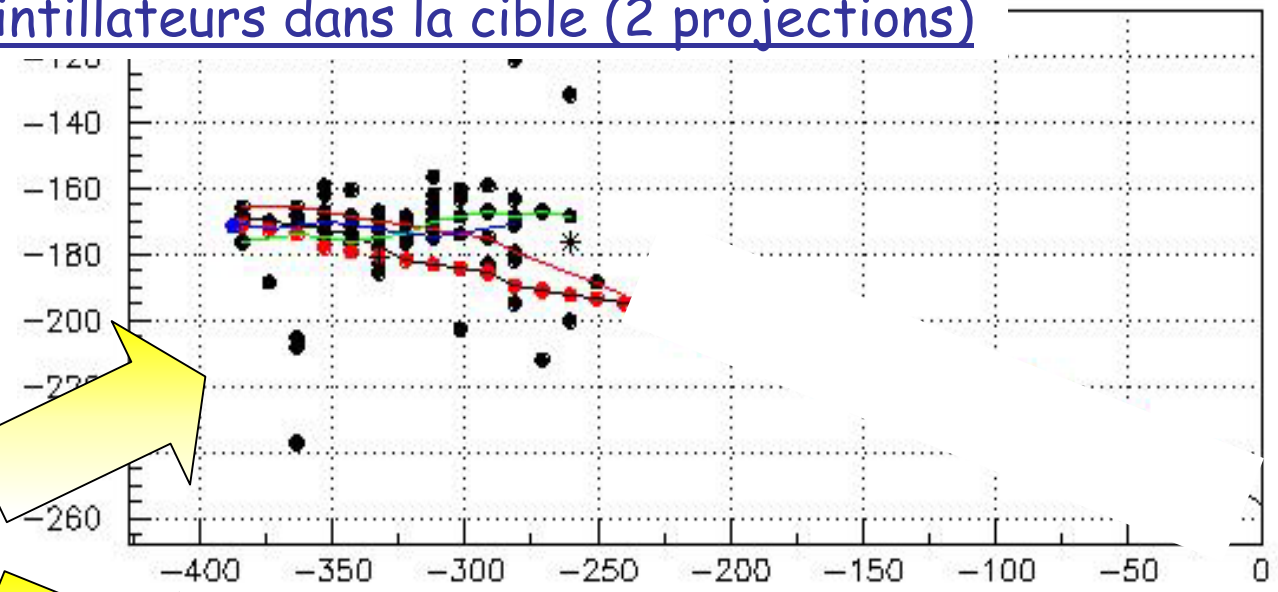
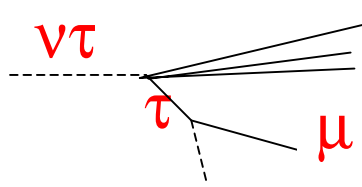


1 seule trace « 3D » possible = trace la plus longue dans chacune des 2 projections.



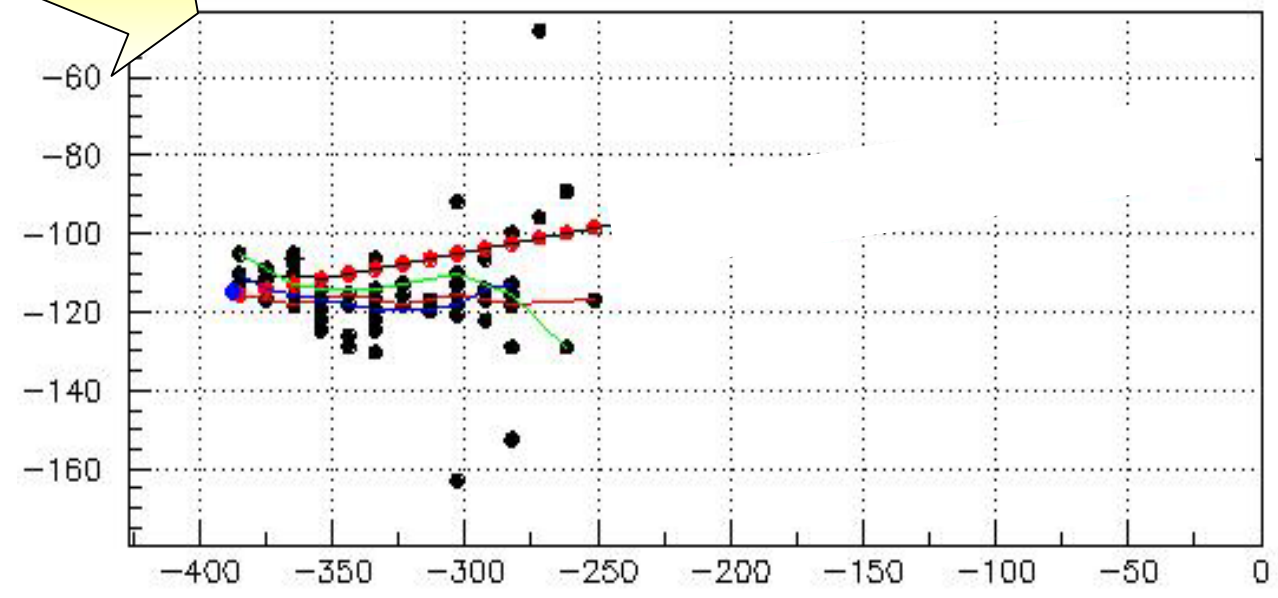
# Hits scintillateurs dans la cible (2 projections)

$\tau \rightarrow \mu$  DIS



x-z projection

$\mu(3D) ?$



y-z projection

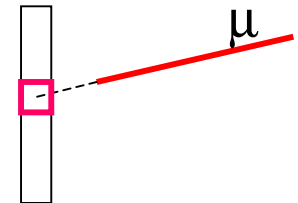


# Classification des événements



Seule véritable trace = trace du  $\mu$ (3D) d'où la logique:

- Etude des événements classés **C**ourant **C**hargé:
  - « **DIS** »: possibilité de vertex 3D avec trace  $\mu$  + gerbe hadronique;
  - « **QE** »: trace  $\mu$  uniquement donc pas de vertex 3D possible ...
  
- Etude des événements classés **C**ourant **N**eutre:
  - « **compact** »: dépôt d'énergie proche du vertex, analyse facile
  - « **long** »: dépôt d'énergie sur plusieurs plans, vertex 3D?, trace globale ? ...



Résultats pour les événements CC (rôle important de la reconstruction de traces)



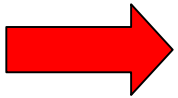
# Vertex 3D

## Réseau de neurones



### ❖ Construction du vertex 3D:

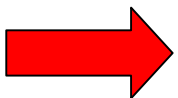
- Idée: la seule trace « propre » est celle du **muon (3D)**, les autres traces (**2D**) ne sont pas toujours utiles ...  
→ Essayer d'utiliser la direction de la **gerbe hadronique**
- nécessite au moins 1 trace 3D + 1 trace 2D, basé sur la minimisation d'une fonction globale tenant compte des paramètres d'impact et des pentes des traces utilisées + erreurs.



Distribution de probabilité gaussienne 3D

### ❖ Réseau de neurones:

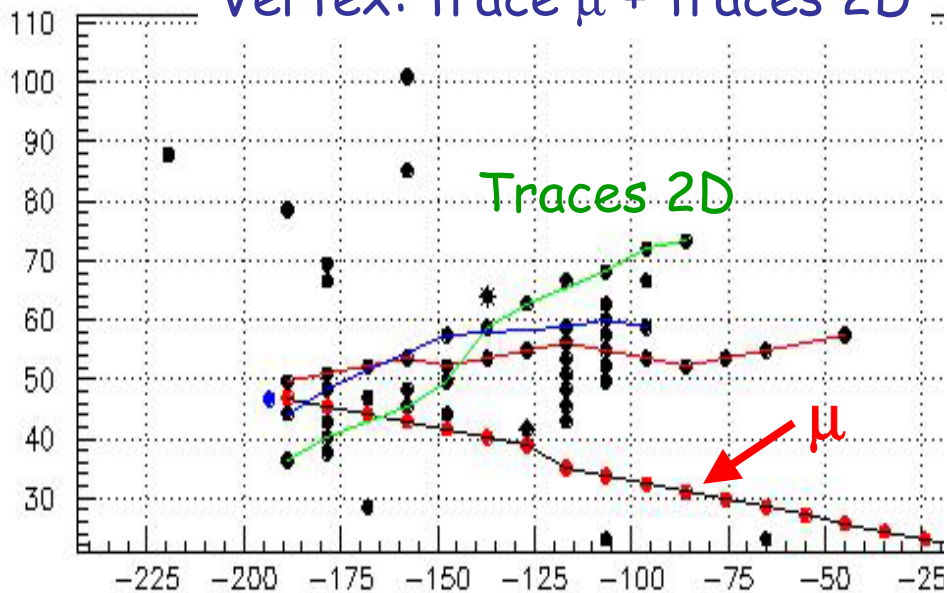
- information supplémentaire à la construction du vertex;
- optimisation du réseau de neurones pour chaque classe d'événements par le choix des variables d'entrée: topologie, calorimétrie.



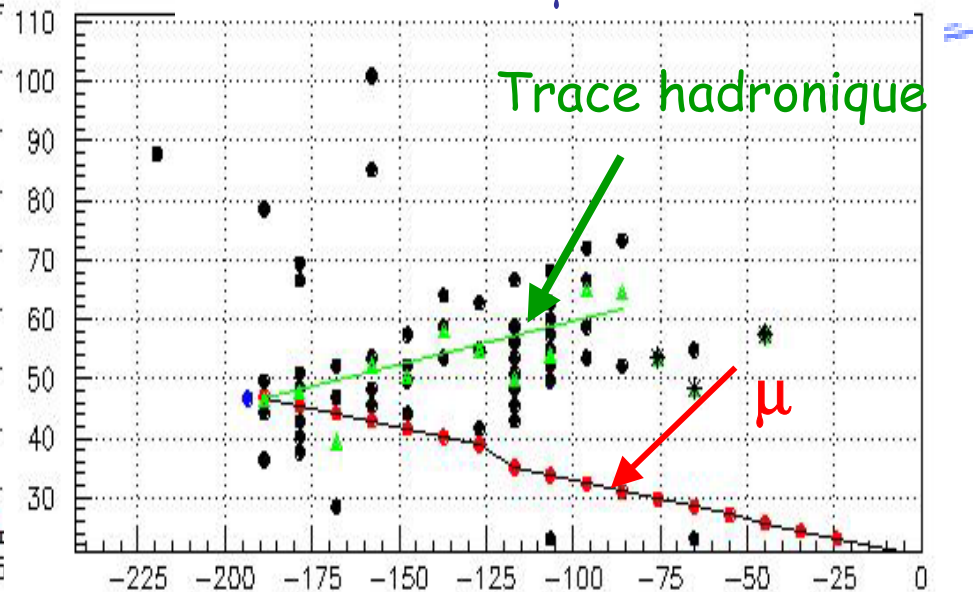
3 murs proposés avec les Prob. associées



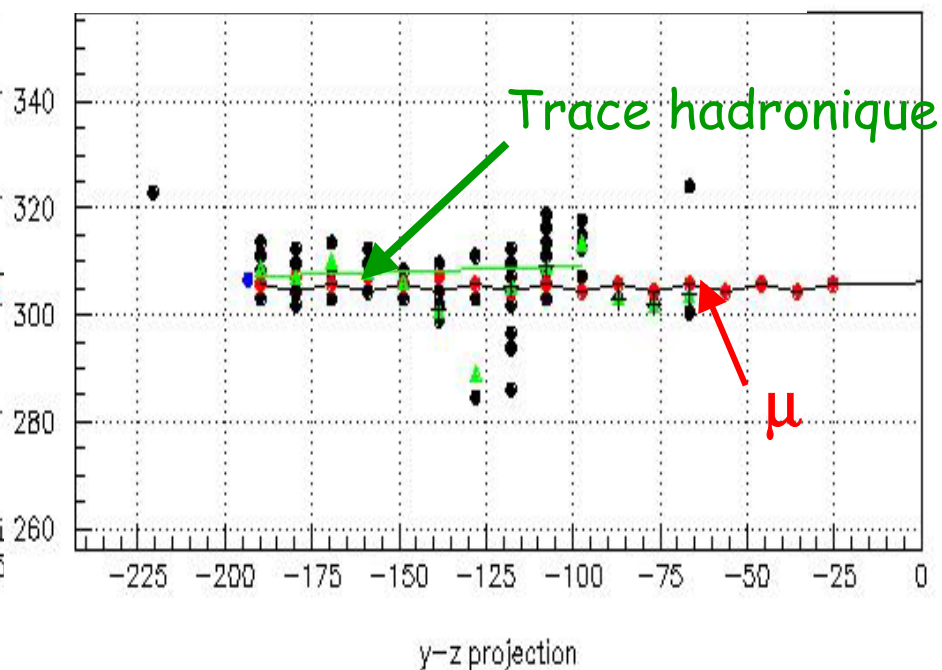
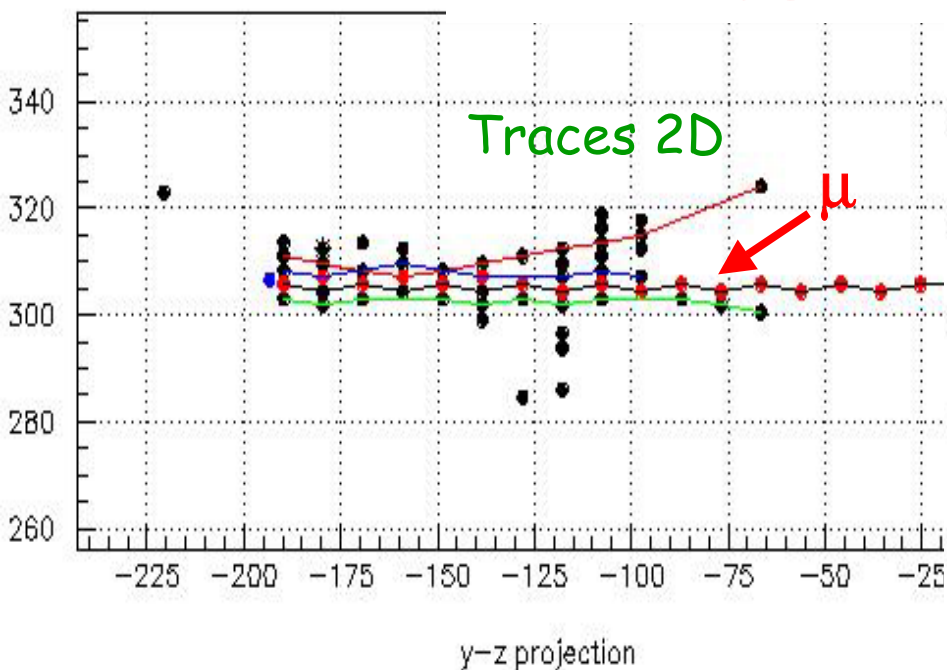
Vertex: trace  $\mu$  + traces 2D



Vertex: trace  $\mu$  + trace had.



**CHOIX DE LA MEILLEURE METHODE !**





# Carte de probabilités 3D

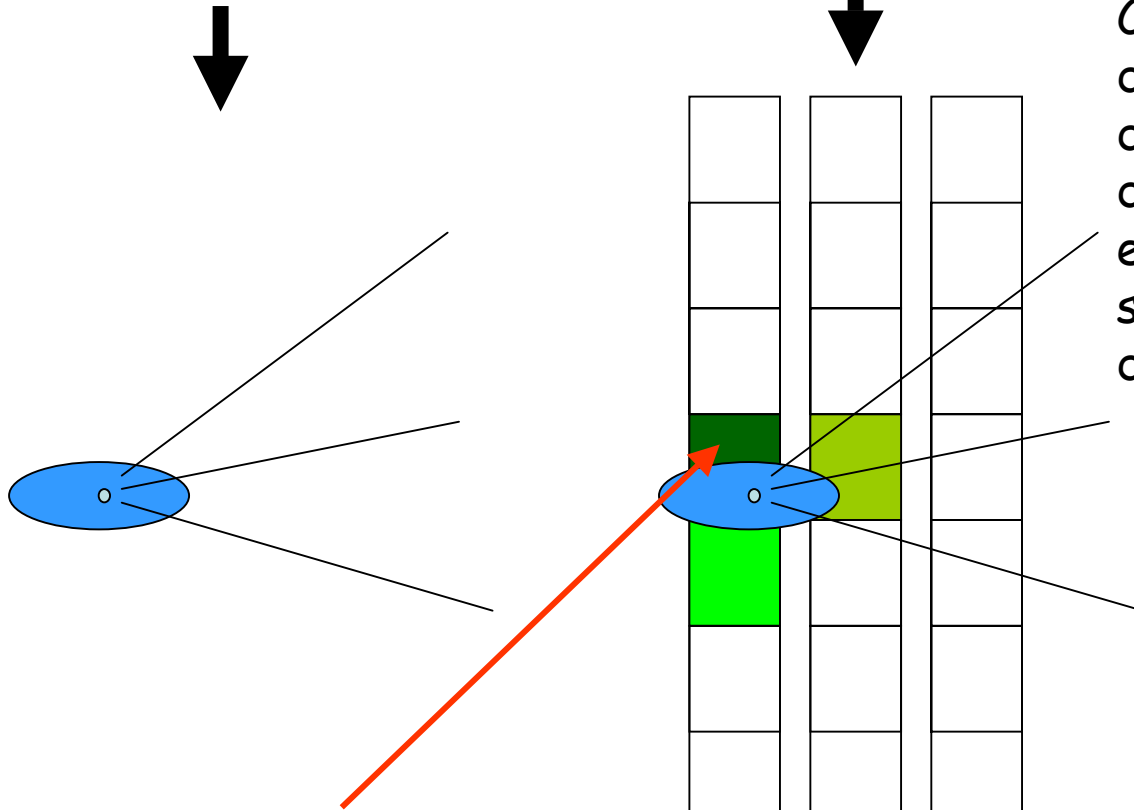
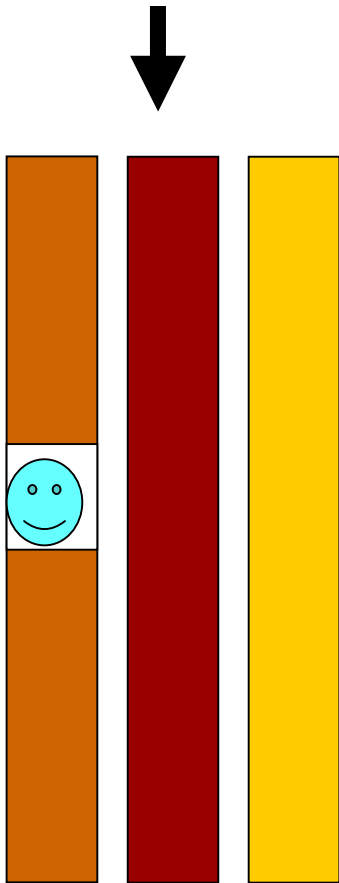


réseau de  
neurones  
prob. des murs

« Tracking »:

+ Distribution des erreurs  
du vertex ajusté  
(gaussienne 3D)

Carte 3D des probabilités  
des briques

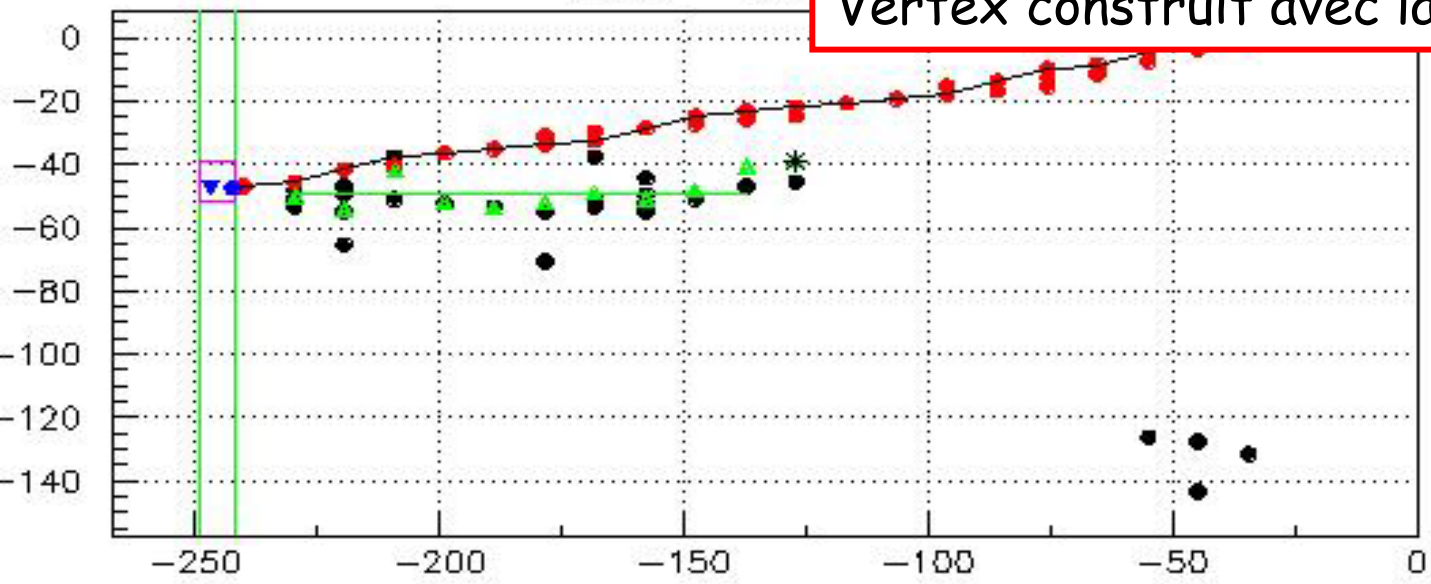


Convolution  
des 2  
distributions  
de probabilités  
et intégration  
sur le volume  
des briques.

La brique d'interaction est localisée en sélectionnant la brique la probabilité maximale (d'autres stratégies plus élaborées sont possibles ...)

Event 105

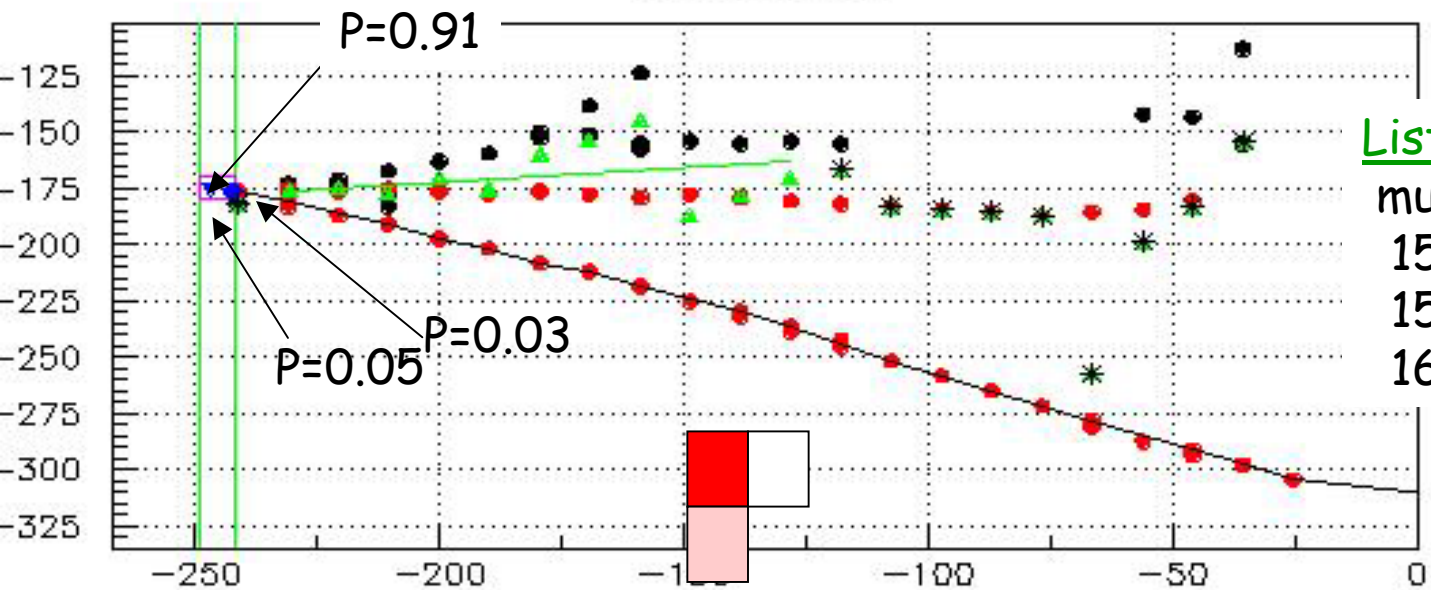
Vertex construit avec la trace hadronique



Prob. Réseau:

15	16	17
0.79	0.21	-

x-z projection



Liste des briques (P>1%)

mur	Nx	Ny	P
15	23	16	0.91
15	23	15	0.05
16	23	16	0.03

y-z projection



# Stratégie d'extraction des briques ( $\tau \rightarrow \mu$ )

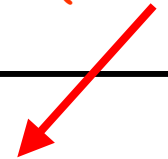


But: récupérer des evts par extraction de la seconde brique la plus probable;

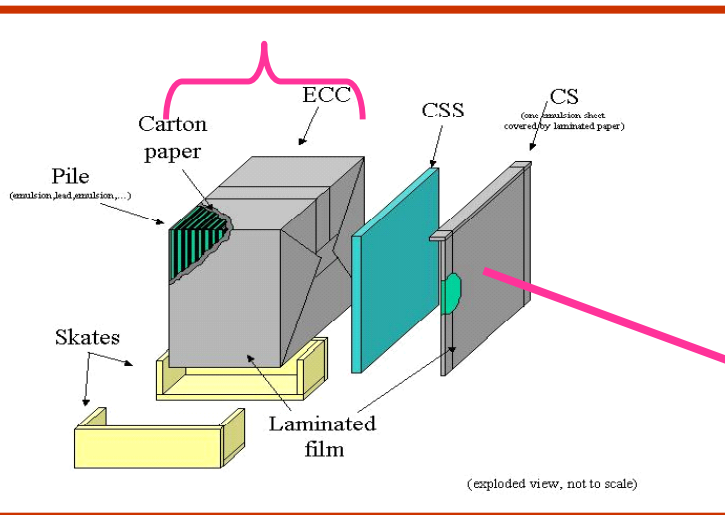
Exemple « simple »:

- ❖ Extraction de la brique ayant la **probabilité maximale**;
- ❖ Si le vertex n'est pas trouvé, extraction de la seconde brique la plus probable si  $P(\text{HPB}) - P(\text{SMPB}) < \text{seuil}$ ;

Stratégie	$\epsilon$ localisation
Brique la plus probable (HPB)	73.1%
HPB + seconde brique la plus probable (SMPB) si $P_1 - P_2 < 0.1$	74.0% (+0.8%)
HPB + SMPB si $P_1 - P_2 < 0.2$	74.7% (+1.6%)
HPB + SMPB ( $P > 1\%$ )	78.1% (+5.0%)



Extraire le moins de briques possible !  
 → Rôle important des feuilles d'émulsion placées à l'extérieur de chaque brique.





# Conclusion



❖ Stratégie pour les événements dits « **courant chargé** » (réseau, vertex 3D, carte 3D) → ok

**$\tau \rightarrow \mu$**

❖ Rôle des **feuilles d'émulsion** à l'extérieur des briques → test prévu pour l'année prochaine.

❖ Stratégie pour les événements dits « **courant neutre** » → en cours ...  **$\tau \rightarrow e, \tau \rightarrow h$**  (et  **$\tau \rightarrow 3$**  hadrons ?).



# Nombre d'événements attendus



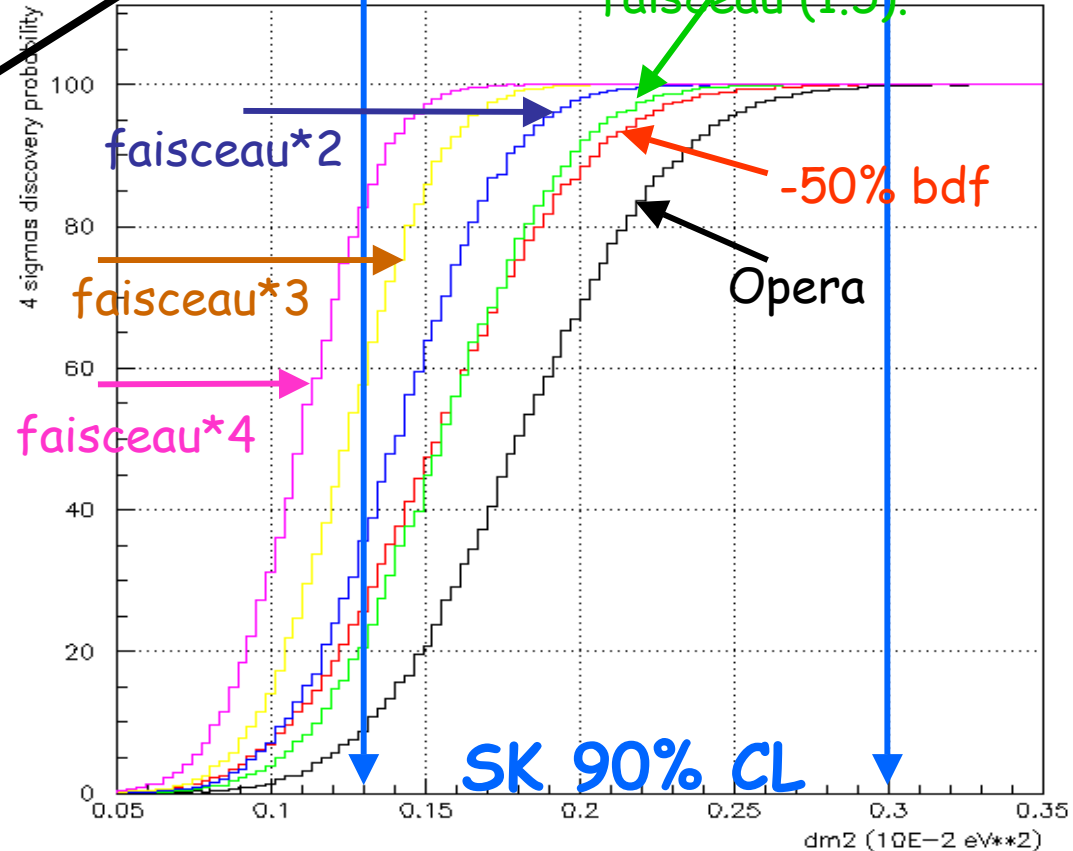
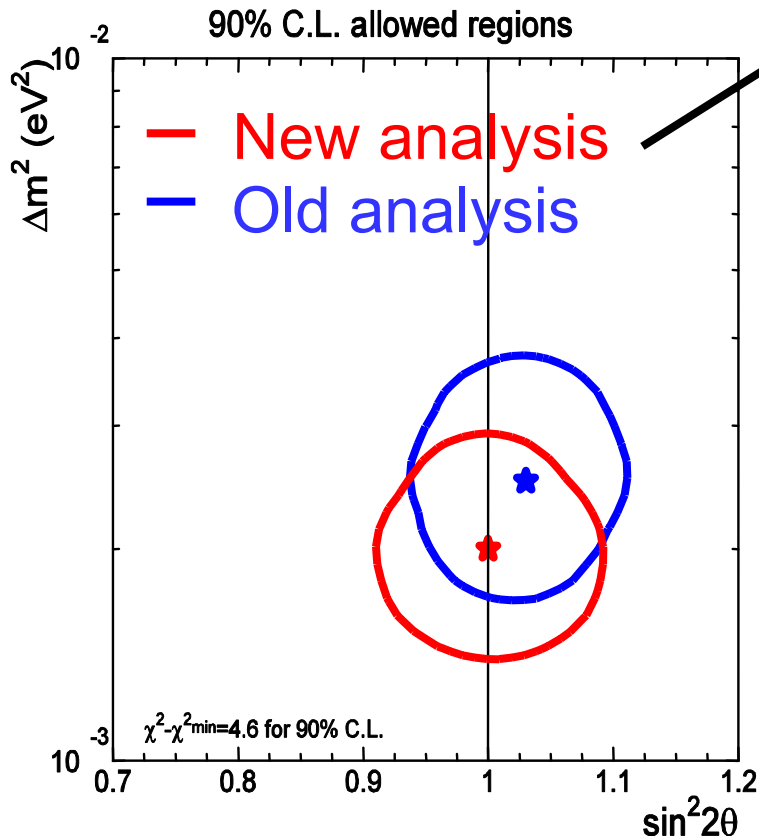
Interactions  $\nu_\tau$  CC

- 5 ans faisceau @  $6.7 \cdot 10^{19}$ /an
- masse 1.766 kt

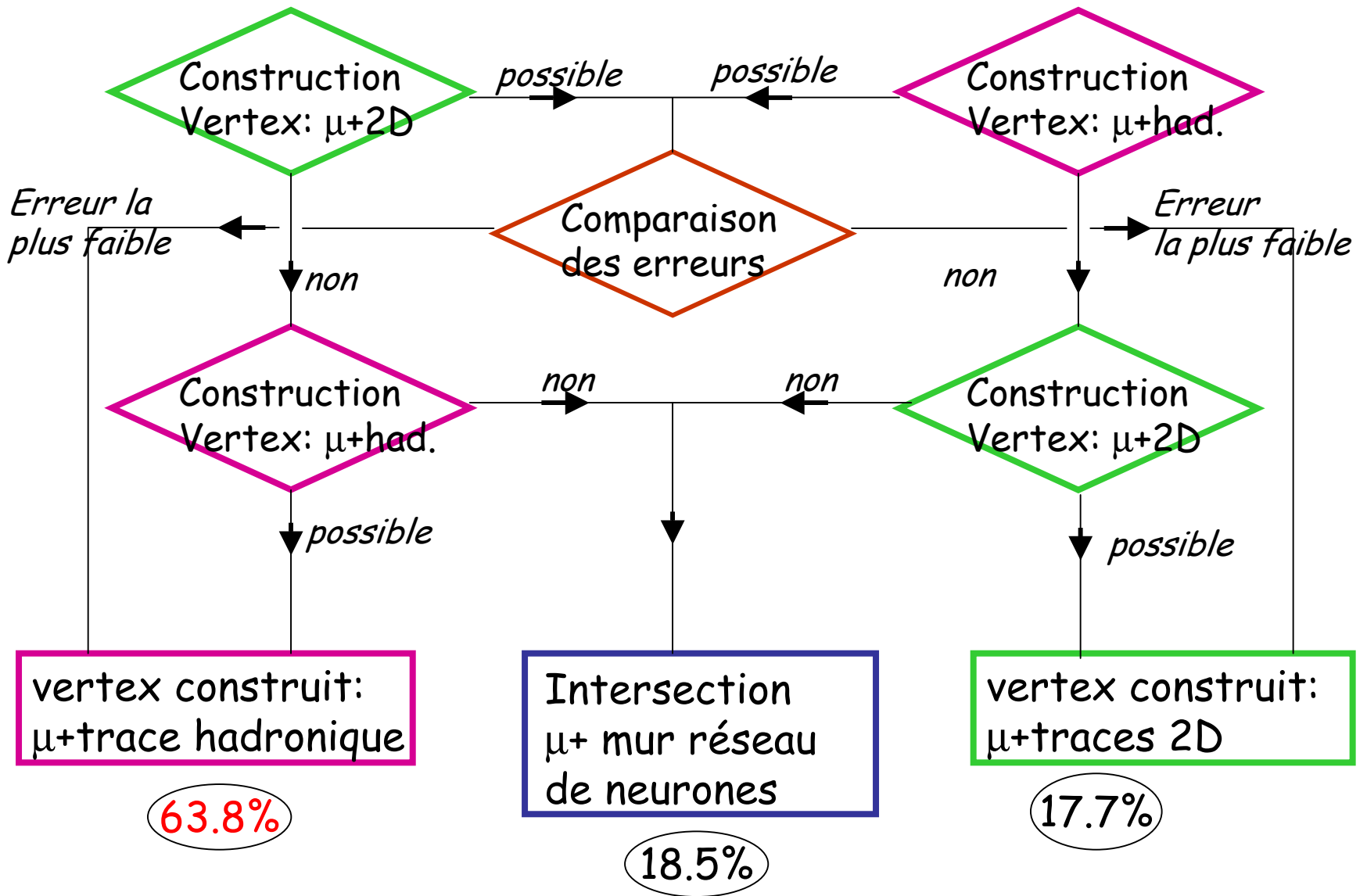
$\Delta m^2 = 1. \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$	32
$\Delta m^2 = 2. \cdot 10^{-3}$	127
$\Delta m^2 = 3. \cdot 10^{-3}$	287
$\Delta m^2 = 4. \cdot 10^{-3}$	771

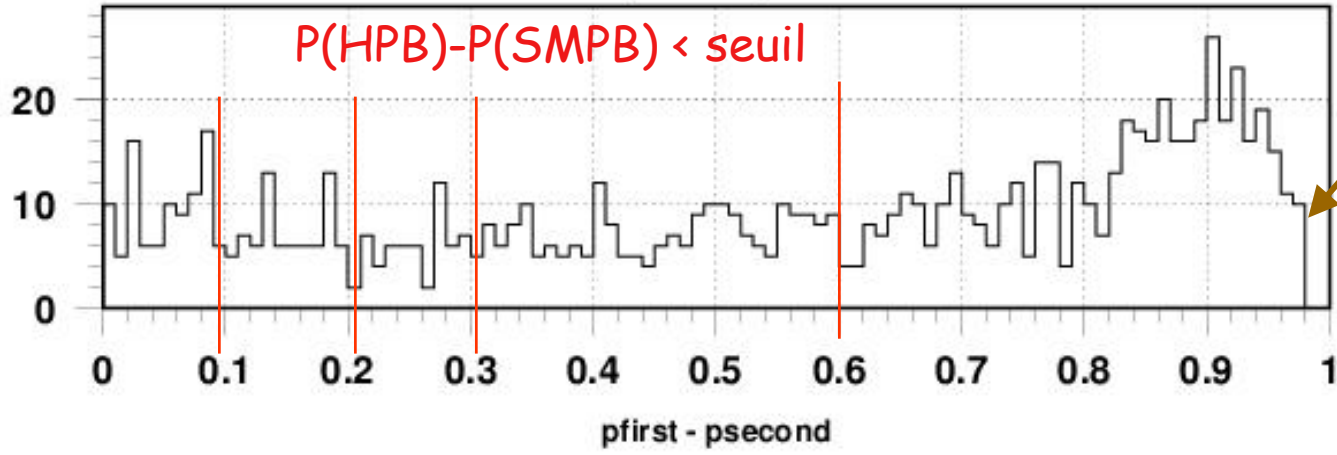
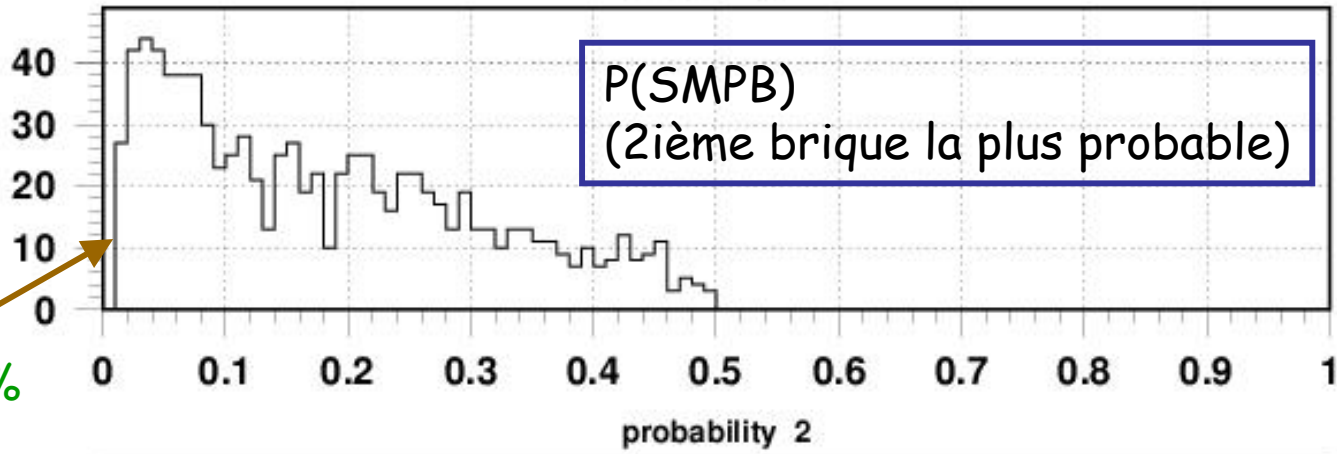
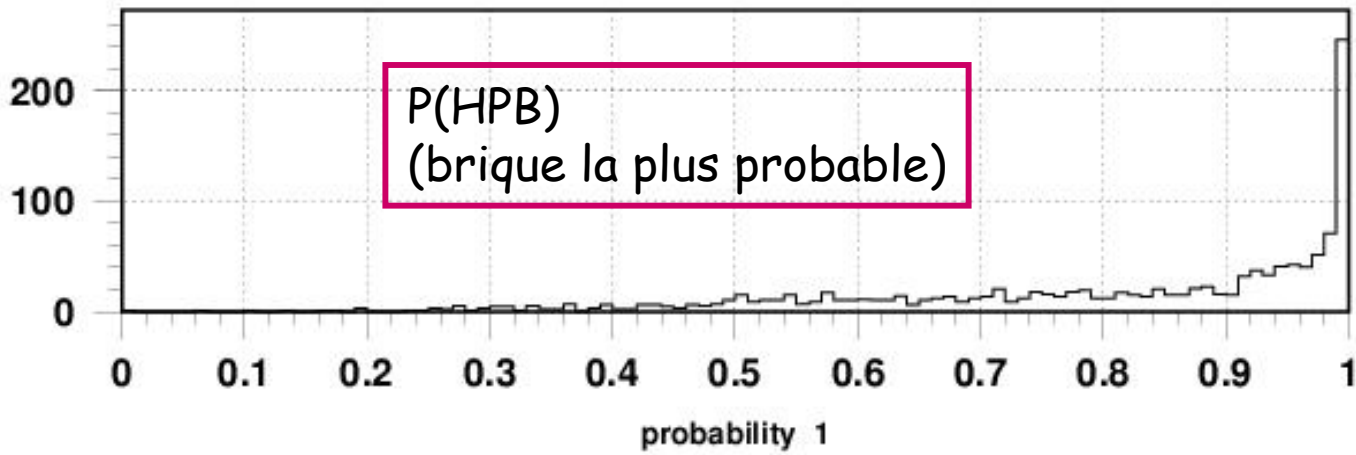
**11. evt  $\nu_\tau$  détectés**  
**1.06 bruit de fond**

+ augm. prévue de I faisceau (1.5).



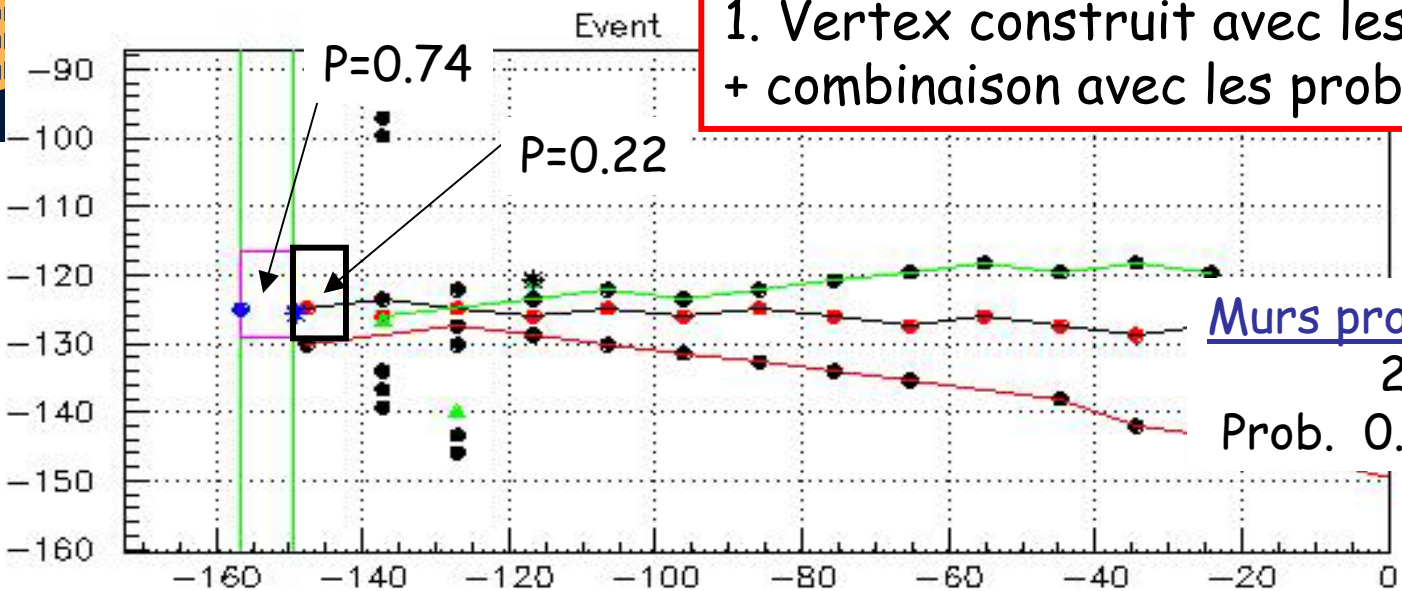
# Choix des traces ...







1. Vertex construit avec les traces standard + combinaison avec les probabilités du réseau

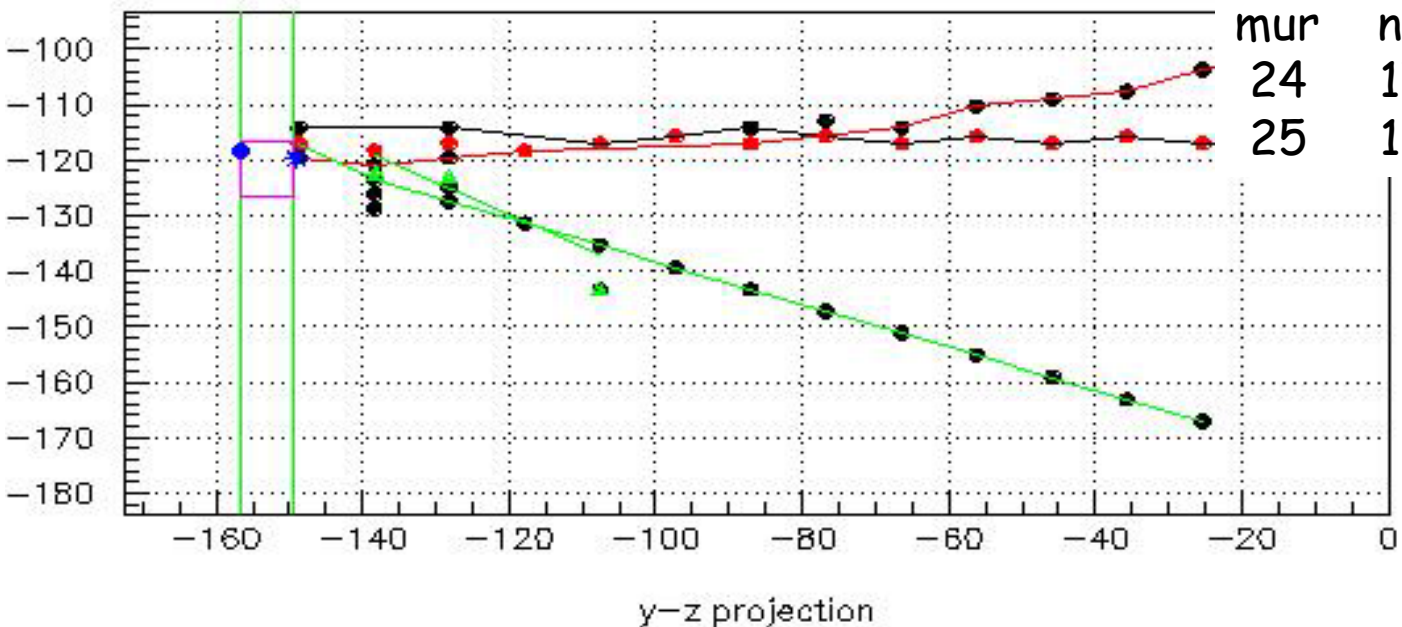


Murs proposés par le réseau:

24	25	26
Prob. 0.58	0.40	0.02



Briques proposées ( $P > 1\%$ )



mur	nx	ny	Prob.
24	17	21	0.74
25	17	21	0.22



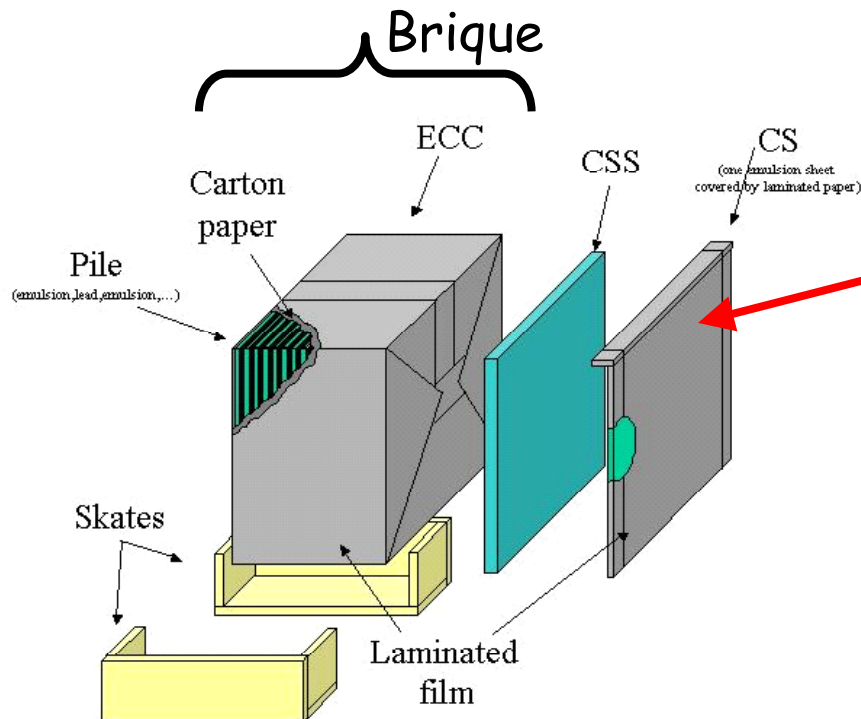
# « Changeable Sheet »



## ➤ Rôle important des « Changeable Sheet »:

- feuille d'émulsion placée après chaque brique, à l'extérieur;
- interface entre les détecteurs électroniques et les émulsions dans la brique, dernier test avant le développement de la brique;

➤ Principe: développer la CS **AVANT** la brique proposée, étudier la compatibilité des traces observées avec une interaction  $v$ .



« Changeable Sheet »  
(avec support)

(exploded view, not to scale)